

збоїв в силовій схемі апарату. Фокусувальні системи зможуть динамічно змінювати взаємне положення лінз та положення оптичної осі в просторі відповідно до прорахованої заздалегідь траєкторії виводу судна на орбіту, змінюючи напрямок поширення пучків та кут їх розбіжностей. Сучасні оптичні системи сканування дозволяють додатково коректувати переміщення напрямку пучка за допомогою контролювання реального положення орієнтовано-базових міток на фюзеляжі ракетоносія в просторі, що забезпечить безперервне та надійне постачання енергії до силових агрегатів машини. Така висока точність наведення дозволяє виготовити уловлювачі проміння малих розмірів, що в свою чергу дозволяє використати їх велику кількість. Себто для забезпечення необхідного рівня енергозабезпечення ми можемо підібрати необхідну кількість випромінювачів. До того-ж велика кількість випромінювачів дозволить запобігти обриву постачання енергії за рахунок непередбачуваних факторів: перешкоди на шляху випромінювання (птахи чи ін.), вихід з ладу одного з випромінювачів. Це дозволить забезпечити надійність та безпечність даного способу постачання живлення. Проблемою запропонованого автором способу є втрати енергії на кожній ланці ланцюга перетворень видів енергії. Тому основною метою виконання магістерської роботи є оптимізація параметрів цих трансформацій та мінімізація втрат. Перспективу для способу також відкривають постійнозростаючі ККД електроприладів та перетворювачів, що використані в запропонованій силовій схемі. Тому автор впевнений що впровадження вищеприписаної схеми живлення у змозі вивести галузь космічних перевезень на якісно новий економічно-доцільний і безпечний рівень.

УДК 621.375.826:621

Короткий Д.В., магістрант; Котляров В.П. д.т.н., проф.

## МЕТОД ТА ЗАСІБ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ В ЗАГОТОВКАХ ІЗ ТЕПЛОПРОВІДНИХ МАТЕРІАЛАХ

Відомі проблеми лазерної обробки заготовки із теплопровідного матеріалу (мідь, алюміній, золото, олово, тощо) пов'язані із складністю ефективного використання теплового джерела, створеного при її опроміненні, внаслідок розсіювання теплової енергії за межі зони обробки механізмом теплопровідності. Ці проблеми стосуються усіх операцій лазерної технології від поверхневої в режимі термообробки до розмірної обробки (ЛРО) з випарним руйнуванням матеріалу заготовки, але в останньому випадку вони більш актуальні внаслідок необхідності створення високої концентрації енергії з густиною потужності теплового джерела  $W_p \geq 10^8 \text{Вт/см}^2$ . Важливість обмеження розтікання тепла підкреслюється створенням особливої методики аналітичного проектування операції ЛРО при обробці отворів в теплопровідних матеріалах (лунок, глибоких отворів та отворів циліндричної форми) [1]. Для зниження впливу теплопровідності ефективні наступні заходи:

- *скорочення тривалості* опромінення моно імпульсом або його заміна на високочастотну обробку системою коротких імпульсів пічків високої інтенсивності;
- *зменшення товщини* заготовки для зниження ролі бічного тепловідводу;
- *зниження теплопровідності* матеріалу заготовки механічним подрібненням його структури (ППД) або попередньою тепловою обробкою (гарт – для сталі, чавуну);
- *зниження темпу відведення тепла* із зони опромінення в периферійну область шляхом зменшення градієнта температур на її межі.

Останній метод використано в оптичній системі для лазерного зварювання листових заготовок внапусток (рис.1), яку складено із двох співвісних лінз: перша на шляху лазерного променя – негативна (2) з центральним отвором, друга - позитивна (3).

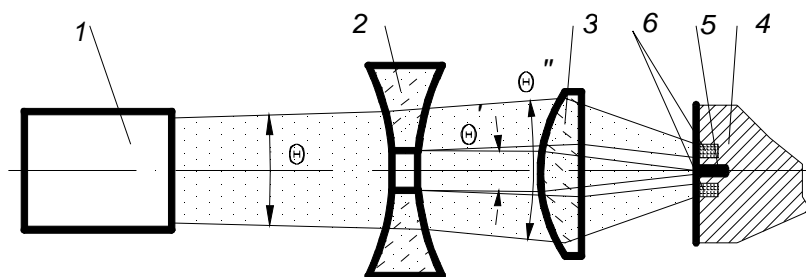


Рис.1. Схема ЛТУ з оптичною системою для створення теплової завіси

Лінза 3 використовується для формування зони опромінення 5 потрібних розмірів  $d_0$  і її фокусна відстань обирається за умови  $F_3 = d_0/\theta'$  ( $\theta'$  - кут розбіжності центрального променя). Система лінз 2 і 3 концентрує периферійний промінь в кільце 6 навколо зони опромінення 5 на поверхні заготовки 4. Інтенсивність в зоні опромінення 5 повинна мати рівень, достатній для створення технологічного ефекту заданого розміру, в кільцевій зоні – для формуванні теплової завіси з температурою, яка не перевищує температури плавлення матеріалу заготовки. Недоліком такого засобу є необхідність в зміні параметрів складових лінз для іншого технологічного завдання як за видом операції, матеріалу заготовки та розмірів оброблювального елемента. Нами запропонована гнучка конструкція засобу для реалізації подібної схеми формоутворення отвору в заготовках із теплопровідних матеріалів. За своєю суттю це модернізована схема трансфокатора з рідкою компонентою [2], для якого змінено умови його застосування (рис.2а) [3]. Як видно з схеми пристрою для обробки лунки (отвору) лазерний промінь 1 діаметром  $D$  перетворюється лінзою 2, яка є дном стакану 3 та має фокусну відстань  $F_1$ . В стакан заливається рідина, що має показник заломлення  $n_p$  рівний показнику для матеріалу лінзи (наприклад, для скла кронглас FK 3 з  $n_c = 1,4644$  такою рідиною може бути гліцерин з  $n_2 = 1,4695$  або кремнійорганічні з'єднання  $n_k = 1,46$ ), причому її об'єм  $V_p$  обмежується величиною, при якій в стакані, що обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ , утворюється лінза з вільною поверхнею у вигляді параболоїда обертання з розривом в центрі діаметром  $D_0$ . Таким чином, центральна частина пучка в якій інтенсивність випромінювання максимальна, перетворюється центром лінзи 2 і використовується для розмірної обробки отвору, а енергія в його периферичній частині концентрується складеною лінзою (рідинна та скляна) в кільце діаметром  $d_3$  і шириною  $b_3$  довкола лунки при меншій інтенсивності в зоні опромінення, яка достатня для створення теплової завіси без руйнування матеріалу заготовки. Це дозволяє максимально використовувати теплову енергію, наведену центральною частиною пучка, зменшуючи її втрати на теплопровідність із зони опромінення. Така конструкція майже універсальна тому, що однією лінзою з  $F_1 = \text{const}$ , використовуючи властивість лазерного променя ( $\theta \in 0 \div \theta_D$ ), можна формувати зони опромінення в широкому діапазоні розмірів, а змінюючи параметри обертання стакану  $\omega$  та рівень рідини в ньому – створювати необхідну за розмірами ( $D_3$  та  $R_1$ ) тобто за параметром  $F_2$  додаткову лінзу.

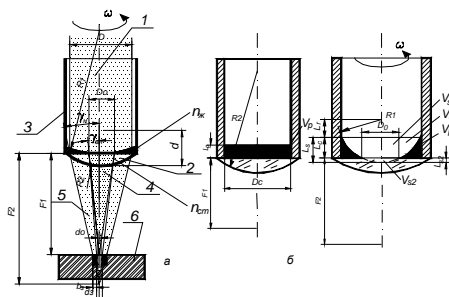


Рис.2. Схема оптичної системи для особливих умов опромінення

Алгоритм проектування об'єктиву (рис. 2б):

- визначити режими обробки (в тому числі  $d_0$ ) за відповідною методикою;
- обрати лінзу 2, використовуючи залежність  $F_1 = d_0/\theta_1$  ( $\theta_1 \in 0 \div \theta_D$ );
- визначити діаметр центральної частини пучка  $D_0$ , яка має кут розбіжності  $\theta_1$ ;
- розрахувати фокусну відстань складеної лінзи для зони 6 (рис.1)  $d_3 > d_0$ :

$$F_2 = D_0 F_1 / (D_0 - d_3)$$

- визначити ширину теплової зони  $b_3$ :  $b_3 = (F_2 - F_1) \times (D - D_0) / 2F_2$
- встановити радіус кривизни передньої поверхні комбінованої лінзи  $R_1$ :

$$R_1 = [d(n-1) - nR_2] F_2 (n-1) / \{n[R_2 - F_2(n-1)]\}$$

- визначити швидкість обертання лінзи:  $\omega = (g/R)^{1/2}$ ;
- визначити об'єм рідини  $V_p$ :  $V_p = V_c - (V_{s1} - V_{s2})$ ,
- визначити висоту шару рідини в нерухомому стакані  $L_p$ :

$$L_p = 0,5\omega^2 \{[(0,5D_0)^2 - (0,5D_c)^2]^2 / 0,5D_c^2 g\}.$$

#### Література

1. Herziger G., Stemme R., Weber H. Modulation Technique to Control Laser Material Processing. – IEEE, QE-10, 1987, №2 P.175-176
2. А.с. 574895 СРСР, МКІ<sup>3</sup> В23 К 26/00. Об'єктив [Текст] В.С. Коваленко, В. П. Дятел, Ю.В. Кобилянський
3. Патент 74855 Україна, МКІ<sup>3</sup> В23К 26/00. Об'єктив для лазерної обробки В.П. Котляров, Д.В. Короткий

УДК 621.375.826:621

Процак О.М., магістрант; Котляров В.П. д.т.н., проф.

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОЇ РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

У різних галузях науки і техніки, зокрема, в електротехнічних виробках і радіоелектронних приладах широко застосовуються діелектричні матеріали шаруватої структури з матеріалів, що чергуються за властивостями, і мають природне та штучне походження. Перші, зазвичай, ізотропні в межах кожного шару, представляють складність для лазерної розмірної обробки (ЛРО) на її відомих режимах (з випаром матеріалу) унаслідок супутнього розшарування заготовки дією ерозійного факела. Обробка штучних діелектричних матеріалів супроводиться меншою небезпекою розшарування із-за вищої міцності міжшарових зв'язків, проте, істотні відмінності в механічних і теплофізичних властивостях матеріалів шарів створюють певні, інколи важко визначувані перешкоди для режимного супроводу технологічної операції. У попередній роботі [1] нами розглянуті основні шляхи вирішення технологічних проблем ЛРО і запропоновані засоби їх реалізації [2].

Метою цих експериментів є перевірка розроблених пропозицій, а також визначення фактичних меж режимів обробки з врахуванням реальних властивостей оброблюваних матеріалів. До останніх відносяться, наприклад, такі їх пошарові властивості: однорідність, коефіцієнт поглинання, оптична щільність, спектр поглинання, які складно врахувати в обчислювальних експериментах. У використаному в експериментах устаткуванні передбачалося вживання всіляких за своїми характеристиками, але загальнодоступних випромінювачів: на YAG: Nd<sup>3+</sup>, CO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub>. Їх об'єднує імпульсний режим генерації з широким діапазоном варіації частоти дотримання імпульсів  $\nu$  (від 100Гц до 25кГц) і можливістю досягнення в зоні